



TITLE:

Appearance of Symmetry Breaking in AC/AC Converters and Its Recovery Methods(Abstract_要旨)

AUTHOR(S):

Manuel, Antonio Sánchez Tejada

CITATION:

Manuel, Antonio Sánchez Tejada. Appearance of Symmetry Breaking in AC/AC Converters and Its Recovery Methods. 京都大学, 2019, 博士(工学)

ISSUE DATE:

2019-09-24

URL:

<https://doi.org/10.14989/doctor.k22069>

RIGHT:

許諾条件により本文は2020-09-24に公開

京都大学	博士（ 工学 ）	氏名	Manuel Antonio Sánchez Tejada
論文題目	Appearance of Symmetry Breaking in AC/AC Converters and Its Recovery (AC/AC コンバータにおける対称性破れの発生とその回復法)		
(論文内容の要旨)			
<p>本論文は、対称な構成を持つ AC/AC コンバータ回路に関して、駆動時に発生する対称性の破れ現象についてそのメカニズムを解析すると共に、そのスイッチング制御に遅れフィードバックを適用した対称性の回復法を提案し、実験的に実証したものであって、本論文は 8 章からなっている。</p>			
<p>第 1 章は序論であり、研究の背景と目的を述べている。物理学、化学等、様々な分野における現象に対称性が見出される。対称性の理解や数学的な記述と同時に、対称性の破れによって、種々の現象や現象の遷移が生じることも知られている。電気工学においても、グラフ理論や電力システムの解析において対称性が議論されている。また、電力工学では対称座標法において、不平衡負荷時の非対称成分の解析が重要であることが示されている。本章では、本論文において AC/AC コンバータに生じる対称性の破れを扱うため、AC/AC コンバータの動作を対称性の観点からまとめている。さらに、本論文で適用する時間遅れフィードバック制御（TDFC）について、パワーエレクトロニクス分野での適用例をまとめている。最後に、本論文で論じる対象と適用する制御方法、さらには実験システムへの実装にもとづいて実証する、議論の流れをまとめている。</p>			
<p>第 2 章は、本論文で検討対象としている単相 AC/AC コンバータ、および 3 相マトリクスコンバータの基礎をまとめている。単相 AC/AC コンバータは、インテリジェント・トランスフォーマーとして提案されたものである。本方式には、力率改善機能、定出力、小型化に優位性があり、PWM タイプの降圧タイプの回路が利用されている。3 相 AC/AC マトリクスコンバータは、3 相交流を直接 3 相交流に変換する変換回路である。その 9 個のスイッチの制御には、一般的に空間ベクトル制御とベントリーニ法が使用される。本論文では、検討対象とするマトリクスコンバータにおいて、これらのスイッチング手法に加えて、外部フィードバックを適用して対称性の回復制御を検討する。本章はそのための準備を行っている。</p>			
<p>第 3 章は、AC/AC コンバータの非線形力学挙動とその安定化についてまとめている。まず、AC/AC コンバータの非線形力学挙動を解析する手法を、対称性の破れの観点からまとめる。回路動作に対称性を回復し、不安定な周期軌道を安定化する手法として時間遅れフィードバック制御法および拡張時間遅れフィードバック制御法についてまとめている。これらの制御法は、システムのモデルを必要としないことで知られており、その特徴をまとめている。</p>			
<p>第 4 章では、単相 AC/AC コンバータにおける時間推移に対する対称性の破れと、それに伴うカオスの発生について述べている。このコンバータにおけるカオスの発生は既に知られている現象であるが、これを対称性の破れの観点から見直した。さらに、拡張時間遅れフィードバック制御を適用することによりスイッチング動作の対称性を回復させ、カオスが生じている際に不安定になっている周期解を安定化できることを確認した。</p>			
<p>第 5 章は、ここまでの議論をマトリクスコンバータへ展開を図る前に、2 台のコンバータを V 結線して 3 相化した AC/AC コンバータを検討している。このコンバータも前</p>			

京都大学	博士（工学）	氏名	Manuel Antonio Sánchez Tejada
<p>章と同様に、スイッチング動作の対称性の破れによりカオスが生じることを確認した。この制御に、第4章同様に拡張時間遅フィードバック制御の適用を試みた結果、対称性を回復して周期的な出力を得た。特に、拡張時間遅れフィードバック制御が、高い周波数成分の電力を目標周波数に集中させていることも確認できた。さらに、この制御により、対称性が破れてカオスが生じた際に入力側に戻っていた電力を、出力側に転じさせていることを確認した。最後に、これらの結果と負荷、ゲイン、遅れの設定パラメータとの関係を、数値シミュレーションで検討し、対称性を回復するのに適したパラメータ領域を探索した。</p> <p>第6章は、第5章までの検討に基づき、空間ベクトル制御を適用したマトリクスコンバータに議論を展開している。マトリクスコンバータが不平衡負荷を負った時、三相交流の電圧および電流には非対称成分が現れる。逆相成分がスイッチングの対称成分の概周期振動への分岐に伴って現れることを明らかにした。マトリクスコンバータには、より簡便な時間遅れフィードバック制御法の適用を試みた。シミュレーションで、時間遅れフィードバック制御がマトリクスコンバータのスイッチングの対称性を改善し、逆相成分を抑制する可能性があるという結果を得ている。そこで、マトリクスコンバータの実験回路を製作し、時間遅れフィードバック制御にFPGAに実装し、シミュレーション結果の実験による検証を行った。その結果、マトリクスコンバータの実回路において、時間遅れフィードバック制御が実現できること、およびシミュレーションで得た逆相成分の抑制が、実験システムでも実現できることを初めて明らかにした。</p> <p>第7章は、実用的なマトリクスコンバータにおいて用いられているベントリーニ法による駆動の場合を検討している。マトリクスコンバータの入出力の交流周波数が異なる場合に、スイッチングの対称性が破れ、不平衡成分の零相成分が生じることを明らかにした。零相成分は概周期成分として全ての相に重畳することを確認した。本章では、時間遅れフィードバック制御法を適用したシミュレーションにより、零相成分を抑制できることを示した。この結果より、時間遅れフィードバック制御法が、周波数領域の対称性の回復に有効な場合があることを示した。</p> <p>第8章は結論であり、本論文で得られた成果についてまとめるとともに、今後の研究の課題と展望を述べている。</p>			

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、対称な構成を持つ AC/AC コンバータ回路に関して、駆動時に発生する対称性の破れ現象についてそのメカニズムを解析すると共に、そのスイッチング制御に遅れフィードバックを適用した対称性の回復法を提案し、実験的に実証したものであり、得られた主な成果は次のとおりである。

1. 単相 AC/AC コンバータにおいて時間に関する対称性が周期性である。そのパラメータに依存した周期性の破れが、カオス振動などの非線形振動として現れる。これらに対して、対称性を回復する手法として拡張形時間遅れフィードバックの適用を提案し、不安定周期軌道が安定化でき、対称性が回復することを明らかにした。

2. 拡張形時間遅れフィードバック法による回路動作の対称性の回復法が、AC/AC コンバータ回路の制御に一般的に用いられるパルス幅変調に併用できることを明らかにし、その手法により非線形振動が抑制され、時間における対称性（周期性）を回復できることを示した。

3. 2 相 V 結線 コンバータ回路において、不平衡負荷を負った場合に回路のスイッチング動作が対称性を失い、非線形振動を生じることを確認した。単相回路に同様、対称性の破れに対する回復法として導入した拡張時間遅れフィードバック法がこれらに回路へも適用でき、対称性の回復に有効な制御パラメータの領域が存在することを明らかにした。

4. 空間ベクトル法を適用したマトリクスコンバータが不平衡負荷を負った際に、非対称成分として現れる逆相成分は、対称成分の概周期振動への分岐であることを示した。時間遅れフィードバック制御の適用により、逆相成分が抑制可能であることを、シミュレーションで確認し、実験により実証した。

5. 3 相 AC/AC コンバータであるマトリクスコンバータには、一般的にベントリーニ法が用いられる。この駆動法によるマトリクスコンバータにおいて、入出力の周波数の不一致により、零相成分が現れることを示した。ベントリーニ法に加えて時間遅れフィードバック法を適用し、スイッチング動作の対称性の回復を図ることで、零相成分も抑制できることを示した。

上記のように本論文は、対称な構成を持つ AC/AC コンバータ回路に関して、駆動時に発生する対称性の破れ現象についてそのメカニズムを検討すると共に、スイッチング制御に遅れフィードバックを併用した対称性の回復法を提案し、その手法が有効であることを数値計算および実験的に示したものであり、極めて独創的であって、学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。また、令和元年 7 月 26 日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行って、申請者が博士後期課程学位取得基準を満たしていることを確認し、合格と認めた。

要旨公開可能日： 年 月 日以降